

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՄՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Տրդատյան Արման Ստեփանի

**ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ԻՆՔՆԱՀԱՐՄԱՐՎՈՂ ՄՈՒՏՔ/ԵԼՔ
ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ե.27.01 «Էլեկտրոնիկա, միկրո և նանոէլեկտրոնիկա» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՍԱԳԻՐ

Երևան 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Трдатян Арман Степанович

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ УЗЛОВ ВВОДА/ВЫВОДА
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.27.01-
“Электроника, микро- и наноэлектроника”

Ереван 2020

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (ՀԱՊՀ):

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Վ.Շ. Մելիքյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ. Ս.Խ. Խոսրովերդյան,
տ.գ.դ. Հ.Ա. Փիրումյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի կապի միջոցների
գիտահետազոտական ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2020թ. փետրվարի 28-ին, ժամը 14⁰⁰-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող «Ռադիոտեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի» 046 Մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք) :

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված 2020թ. հունվարի 15-ին:

046 Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.



Մ.Յ. Այվազյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении (НПУА)

Научный руководитель: д.т.н. В.Ш. Меликян

Официальные оппоненты: д.т.н. С.Х. Худавердян,
д.т.н. Г.А. Пирумян

Ведущая организация: Ереванский научно-исследовательский
институт средств связи

Защита диссертации состоится 28-го февраля 2020г. в 14⁰⁰ ч. на заседании Специализированного совета 046 — "Радиотехники и электроники", действующего при НПУА, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА. Автореферат разослан 15-го января 2020 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета 046,
к.т.н.



Մ.Ս. Այվազյան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Частота передачи данных в узлах ввода/вывода (В/В) современных интегральных схем (ИС) превышает гигагерцы. Основные трудности при передаче данных между узлами ИС связаны с паразитными элементами линий передачи, которые, в свою очередь, зависят от их геометрических размеров. В последние годы влияние линий передачи на данные, передаваемые в ИС, стало особенно важным. Это обусловлено тем, что линия передачи подавляет сигнал, вследствие чего происходит деградация временных параметров сигнала, что приводит к потере информации в ИС. С другой стороны, увеличение количества типов узлов В/В повышает требования к их универсальности, что приводит к конкурентоспособности на рынке.

Кроме вышеупомянутых проблем, также увеличиваются зависимости параметров ИС от температуры, высокого и низкого уровней питания и технологического процесса. Это, в свою очередь, влияет на помехоустойчивость и быстродействие системы, в результате чего значительно ухудшаются характеристики узлов В/В.

Методы оптимизации помехоустойчивости и быстродействия систем известны из литературы, однако для их реализации необходимы дополнительные входы ИС. С помощью последних недостатки работы узлов В/В могут быть исправлены после производства ИС. Но в этом случае было бы невозможно сохранить низкую себестоимость ИС, так как увеличение количества входов повышает их стоимость.

Возникаемые после производственного процесса дефекты работы ИС могут быть исправлены посредством самонастраивающихся узлов В/В. Последние, при необходимости, корректируют токи системы, уменьшают зависимости главных параметров от технологического процесса и температурных изменений. Кроме того, они выравнивают временные параметры данных передатчика и приемника или обрабатывают данные с помощью цифровых логик, тем самым обеспечивая надежную работу узла В/В в высокочастотном диапазоне передаваемых данных за счет увеличения площади и потребления энергии системы.

Учитывая, что известные из литературы подходы, решения и архитектуры недостаточны для надежной передачи и приема данных, разработка средств проектирования для самонастраивающихся узлов В/В стала чрезвычайно актуальной.

Диссертация посвящена разработке самонастраивающихся узлов В/В ИС, позволяющих устранить системные недостатки и обеспечить их универсальность.

Объект исследования. Средства проектирования для устранения проблем работы узлов В/В ИС. Способы уменьшения зависимости главных параметров от технологического процесса, высокого и низкого уровней питания, температурных изменений.

Цель работы. Разработка путей и средств, увеличение быстродействия и обеспечение универсальности самонастраивающихся узлов В/В ИС.

Методы исследования. В ходе исследования были использованы способы моделирования, оценка основных рабочих задач, подходы к проектированию и

оптимизации узлов В/В ИС, а также теории микроэлектронных схем и полупроводниковых приборов.

Научная новизна:

- Предложены принципы проектирования самонастраивающихся узлов ввода/вывода, позволяющие значительно улучшить их основные технические характеристики и параметры: производительность, запас временных параметров, помехоустойчивость, а также сократить время проектирования.
- Разработан метод увеличения амплитуды выходного сигнала передатчика, который благодаря встроенным цифровым логикам обеспечивает уменьшение длительностей передних и задних фронтов данных на 50%, в результате чего вертикальная и горизонтальная апертур "глазковой" диаграммы улучшаются соответственно на 9 и 13%, в то время как ухудшение потребления тока составляет всего лишь 8%.
- Предложен метод самонастраивания пороговой чувствительности высокочастотных синхронных компараторов, который уменьшает отклонение пороговой чувствительности, как минимум, в 10 раз с помощью цепи корректировки тока за счет увеличения площади узла в 1,5 раза.
- Создана система самонастраивания технологических отклонений в узле передатчика, которая за счет регулировки выходного буфера приближает запас временных параметров выходного сигнала к типичному случаю, вне зависимости от технологических отклонений, с максимальным отклонением передних и задних фронтов сигнала на 2,5%, за счет увеличения энергопотребления на 5% и занимаемой площади на 10%.
- Реализован метод самонастраивания выходной частоты генератора, управляемого напряжением, который в случае температурных изменений уменьшает избыточный ток с помощью токового зеркала, в результате чего отклонение выходной частоты не превышает 5% за счет увеличения потребления тока на 3%.

Практическая ценность работы. Основываясь на принципах и методах, разработанных в диссертации, было создано программное обеспечение "Self-Designer", которое внедрено в ЗАО "Синописис Армения" и используется для проектирования и исследования главных параметров самонастраивающихся узлов ввода/вывода интегральных схем. Тестирование последнего в ряде существующих проектов показало его более высокую эффективность по сравнению с другими программными системами этого класса. Оно обеспечивает сокращение времени проектирования узла ввода/вывода более чем в 2,5 раза за счет ухудшения измеремого параметра на 17%.

Достоверность научных положений подтверждена сравнением полученных научных результатов с экспериментальными результатами моделирования, представленными в диссертации.

Внедрение. Программный инструмент "Self Designer" внедрен в ЗАО "Синописис Армения". Он используется для проектирования основных узлов В/В, исследования различных зависимостей и анализа полученных результатов. Методы самонастраивания были внедрены в модули ввода/вывода с помощью

программного обеспечения "Self Designer", были изучены различные зависимости параметров.

Основные положения, выносимые на защиту:

- метод увеличения амплитуды выходного сигнала передатчика;
- метод самонастраивания пороговой чувствительности высокочастотных синхронных компараторов;
- система самонастраивания технологических отклонений в узле передатчика;
- метод самонастраивания выходной частоты генератора, управляемого напряжением.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертации докладывались на:

- 36-ом международном симпозиуме "ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY" (Киев, Украина, 2016 г.);
- 16-ом международном симпозиуме "IEEE EWDTs: East-West Design & Test" (Казань, Россия, 2018 г.);
- научных семинарах кафедры "Микроэлектронные схемы и системы" ННУА (Ереван, Армения, 2016-2019 гг.);
- научных семинарах ЗАО "Синописис Армения" (Ереван, Армения, 2016 - 2019 гг.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в семи научных публикациях, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы, включающего 120 наименований а также 5 приложений. Первое приложение включает в себя акт внедрения диссертации, второе – отрывок Spice описания узла приемника, третье - часть QT описания инструмента Self Designer, четвертое - список рисунков и таблиц, используемых в диссертации, и пятое - список сокращений. Основной текст диссертации составляет 107 страниц, а вместе с приложениями - 156 страниц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, практическая значимость и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены действующие требования к узлам В/В, такие как универсальность. Это вызвано необходимостью систем работать при различных рабочих частотах и источниках питания.

В современных узлах В/В главной проблемой является передача данных через линию передачи. Последняя имеет характеристику низкочастотного фильтра, влияние которого может привести к потерям передаваемых данных. Другой проблемой является наличие множества типов узлов В/В (DDR, USB, LPDDR, DP и т.д.), что вызывает необходимость выбора устройства для проектирования. Исходя из вышесказанного, в настоящее время разрабатываются самонастраивающиеся

узлы В/В, которые могут работать при различных источниках питания и на различных частотах.

Помимо вышеперечисленных проблем, самонастраивающиеся узлы В/В устраняют дефекты передачи и приема данных во время работы ИС. Эти узлы являются дополнительными схемами, которые осуществляют корректировку тока системы, уменьшают зависимость главных параметров В/В от технологического процесса и температурных изменений. Они также выполняют выравнивание временных параметров данных передатчика и приемника или обрабатывают данные через цифровые цепи, тем самым обеспечивая надежную работу ИС в высокочастотном диапазоне передачи данных. Благодаря этому становится возможным дальнейшее увеличение частоты передачи данных, повышается помехоустойчивость узла и снижается себестоимость ИС. В частности, снижение цены ИС связано с уменьшением количества входов и выходов. ИС с самонастраивающимися узлами могут выполнять те же функции, что и ИС с дополнительными входами. Производство первых существенно снизит себестоимость ИС, что повысит конкурентоспособность на рынке.

Современные самонастраивающиеся узлы В/В (рис. 1) - это средства для передачи и приема информации в ИС.

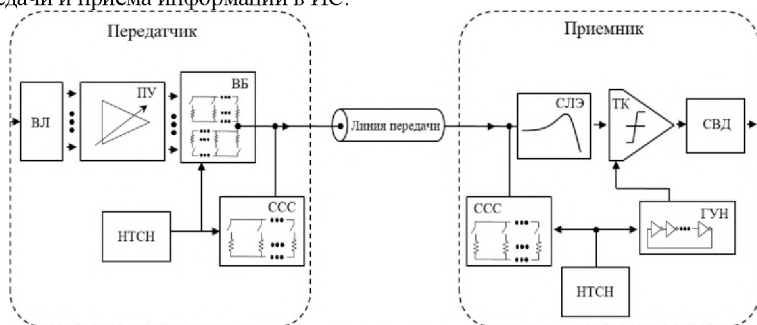


Рис. 1. Узел ввода/вывода

Эти системы представляют собой узлы смешанных сигналов. Разновидности таких систем в основном имеют аналогичную структуру. В передатчике данные, передаваемые из ядра ИС, обрабатываются во входной логике (ВЛ). Так как в самом ядре и вне него значения напряжения питания разные, поэтому необходимо использовать преобразователи уровня (ПУ) напряжения. Перед передачей данных через выходной буфер (ВБ) необходимо согласовать сопротивление передатчика и приемника (R) с реактивным сопротивлением линии передачи (Z_0) с помощью системы соответствия сопротивлений (ССС). В противном случае, передаваемые данные будут отражаться с коэффициентом (ρ) в зависимости от значений перечисленных сопротивлений:

$$\rho = \frac{R - Z_0}{R + Z_0} \quad (1)$$

После того, как данные пересекают линию передачи, необходимо их принять без потерь. Для этого используется система линейного эквалайзера (СЛЭ), которая восстанавливает высокочастотную часть данных, а низкочастотную часть

пропускает, так как линия передачи влияет только на высокочастотную часть сигнала. Восстановленные данные считываются с помощью синхронного компаратора (СК). С учетом этого выходной сигнал СК содержит в себе напряжения предварительной зарядки. Для его вычисления используется система восстановления данных (СВД), которая восстанавливает данные в начальный вид. Также для получения тактового сигнала в узле приемника используется генератор, управляемый напряжением (ГУН). Последняя система, которая используется и в передатчике, и в приемнике, - это независимый от температуры стабилизатор напряжения (НТСН), снабжающий узлы опорным напряжением. Следует отметить, что основные параметры перечисленных схем меняются в зависимости от технологических и температурных изменений, что приводит к потере данных.

Во второй главе представлены разработанные методы решения проблем, изложенных в первой главе.

Метод увеличения амплитуды выходного сигнала передатчика. Данные, передаваемые по линии передачи, искажаются и подавляются. Величина подавления в основном обусловлена длиной линии передачи. Чем она длиннее, тем существеннее подавление сигнала (рис. 2).

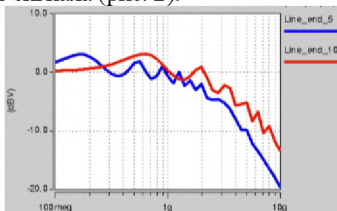


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) линии передачи

Поскольку приемник имеет диапазон входного рабочего напряжения, а передаваемые данные искажаются, то передача высокочастотных данных ограничивается, вызывая проблему надежного считывания последних. В таких случаях в системе может эффективно применяться метод увеличения амплитуды выходного сигнала передатчика (рис. 3).

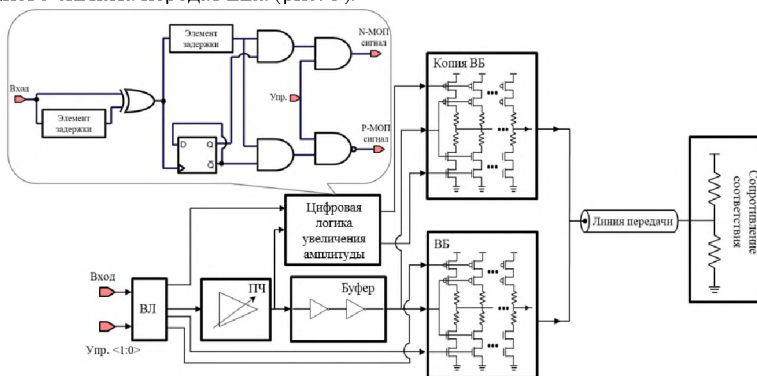


Рис. 3. Метод увеличения амплитуды выходного сигнала передатчика

Передаваемые данные после обработки в ВЛ поступают на вход цифровой логики увеличения амплитуды. В зависимости от переключения данных с уровня логического "1" до "0" или с "0" до "1", определяются значения тока выходного сигнала. Если фронт передаваемого сигнала переключается с уровня логического "0" до "1", включается цепь N-МОП, в противном случае - включается цепь P-МОП.

С целью оценки эффективности предложенного метода, был спроектирован передатчик с рабочей частотой 1,2 ГГц, высоким напряжением 1,2 В и низким напряжением 1 В. В дальнейшем были оптимизированы главные параметры узла передатчика.

Была использована линия передачи длиной 20 см и сопротивления соответствия со значением 120 Ом.

Результаты моделирования системы (табл. 1) показывают, что даже в худшем случае представленный метод обеспечивает достаточные значения раскрытия "глазковой" диаграммы (рис. 4).

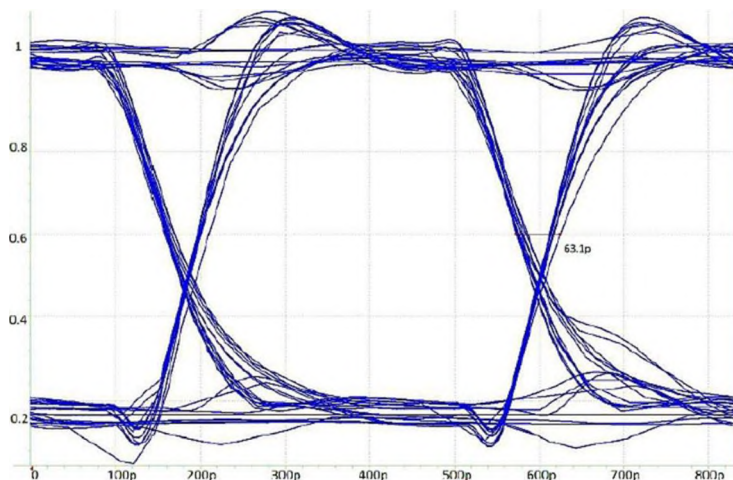


Рис. 4. "Глазковая" диаграмма с использованием предложенного метода

Таблица 1

Результаты моделирования передатчика

Параметр	Предложенный метод	Существующий метод
Колебание (пс)	63,1	79,5
Скорость переднего фронта (В/нс)	6,81	2,02
Скорость заднего фронта (В/нс)	6,48	1,21

При дальнейшем росте частоты данный метод будет работать, поскольку ток коррекции регулируется. Однако с введением этого метода потребление тока и площадь узла возрастают. Рост площади незначителен - 1,5% от общего узла В/В, а потребление тока всего узла составляет 8,3 мА.

Метод самонастройки пороговой чувствительности высокочастотных синхронных компараторов. Представлен метод самонастройки пороговой чувствительности (ПЧ) (рис. 5) высокочастотных СК.

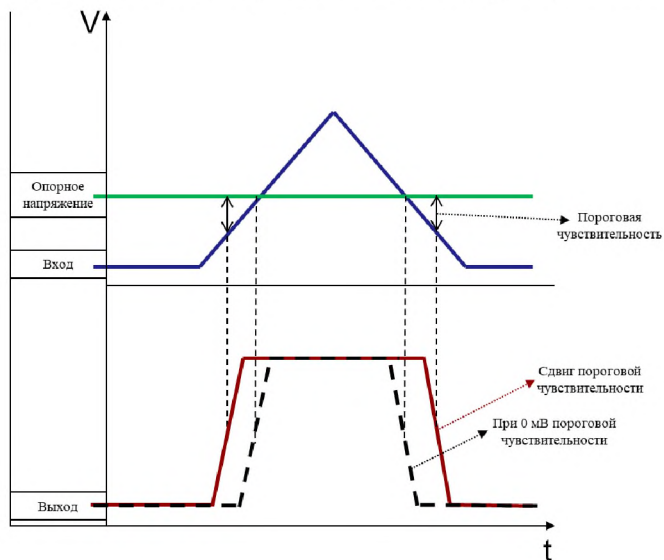


Рис. 5. Пороговая чувствительность

В современных СК ПЧ не должна превышать значение 5 мВ, в противном случае - в системе будут потеряны данные. В идеале, когда выходное напряжение компаратора достигает середины напряжения источника питания, разница между двумя входами компаратора должна быть равна нулю:

$$V_{\text{вход1}} - V_{\text{вход2}} = V_{\text{пч}} \quad (2)$$

Однако моделирование многих компараторов показывает, что ПЧ значительно превышает допустимую норму. Это связано с тем, что во время проектирования распределение элементов компаратора приводит к разным длинам межсоединений компаратора и, как следствие, к разным значениям тока в плечах последнего, либо в ходе технологического процесса параметры, характеризующие работу транзисторов, изменяются (распределения Гаусса), и через два транзистора одного типа и размера течет разный ток.

Представленный метод компенсирует вышеуказанный избыточный ток в режиме предварительной зарядки СК, тем самым обеспечивая значение ПЧ ниже допустимой нормы.

Во время процесса предварительной зарядки включается схема, компенсирующая ток (рис. 6).

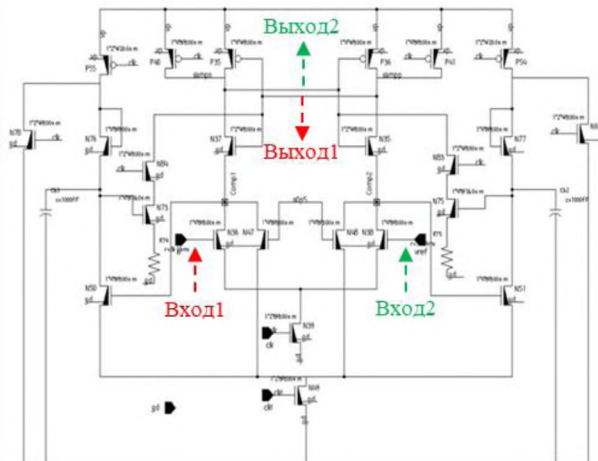


Рис. 6. Синхронный компаратор с компенсацией тока

Далее заряжаются конденсаторы в зависимости от токов в двух плечах компаратора. Полученное напряжение преобразовывается в ток. Во время считывания данных ток течет через защелку в заземление, по причине чего в плечах компаратора течет одинаковый ток. В результате ПЧ существенно уменьшается и становится ниже 5 мВ (рис. 7) (табл. 2).

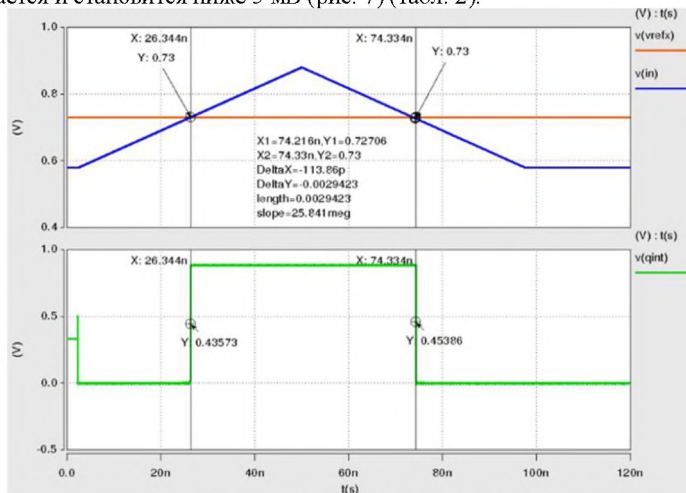


Рис. 7. Диаграмма моделирования ПЧ

Таблица 2

Результаты моделирования синхронного компаратора

Параметр	Применяемое отклонение	Предложенный метод
Входная пороговая чувствительность (мВ)	30	2,9
	25	1,2
	20	1,1
	15	0,4
	10	0,3

Таким образом, при использовании метода самонастраивания ПЧ величина последней значительно снижается и становится ниже допустимого предела. Это указывает на то, что передаваемые данные будут считываться без потерь. Однако площадь узла приемника увеличивается примерно в 1,5 раза.

Метод самонастраивания технологических отклонений в узле передатчика. Предложена система обнаружения и самонастраивания отклонений технологического процесса в узле передатчика (рис. 8). Последние можно определить с помощью значений предельных напряжений (ПН) МОП транзисторов. Для получения ПН в методе используется логика (слабые "1" и "0"), которая повторяет входной сигнал, только с разностями логического "0" плюс ПН P-МОП типа и "1" минус ПН N-МОП типа транзисторов.

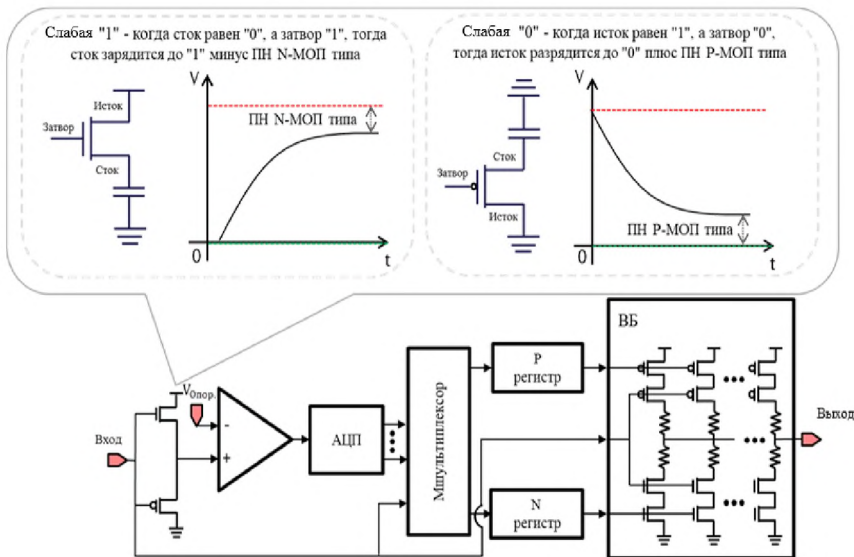


Рис. 8. Система самонастраивания отклонений технологического процесса

Полученные значения ПН транзисторов усиливаются и преобразовываются в цифровой код с помощью аналого-цифрового преобразователя. Далее зарегистрированный цифровой код управляет цепью ВБ, тем самым обеспечивая увеличение или сокращение тока у выхода передатчика.

Моделирование современных передатчиков показало, что длительности передних и задних фронтов сигнала варьируются до 50% от типового случая. При введении предлагаемого метода в узел передатчика вышеуказанное число уменьшится более чем в 15 раз (рис. 9) (табл. 3).

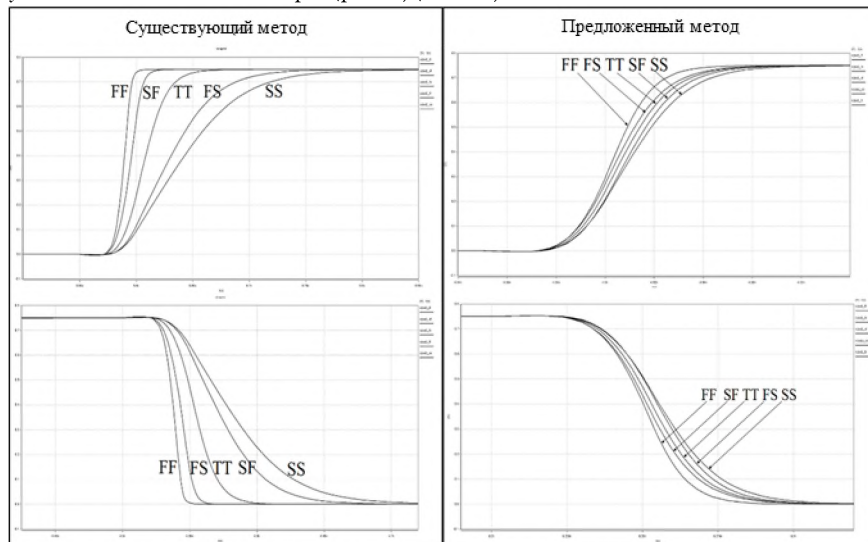


Рис. 9. Передний и задний фронты выходного сигнала

Таблица 3

Результаты моделирования передатчика

Параметр	Предложенный метод		Существующий Метод	
	худший	лучший	худший	лучший
Длительность переднего фронта (пс)	40,86	42,05	20,85	90,91
Длительность заднего фронта (пс)	40,05	41,65	20,15	90,23

Таким образом, при использовании предложенного метода длительности передних и задних фронтов передаваемых данных не превышают максимальное отклонение 2,5% для всех возможных технологических случаев. Однако общий ток, потребляемый передатчиком, увеличится на 1,12 мА.

Метод самонастраивания выходной частоты генератора, управляемого напряжением. Представлен метод самонастраивания выходной частоты ГУН. В частности, выходная частота ГУН меняется в зависимости от температурных изменений в узле. Роль узла ГУН велика в надежном считывании данных, передаваемых в узлах В/В. Надежное считывание данных во многом определяется стабильностью частоты выходного сигнала ГУН (рис. 10).

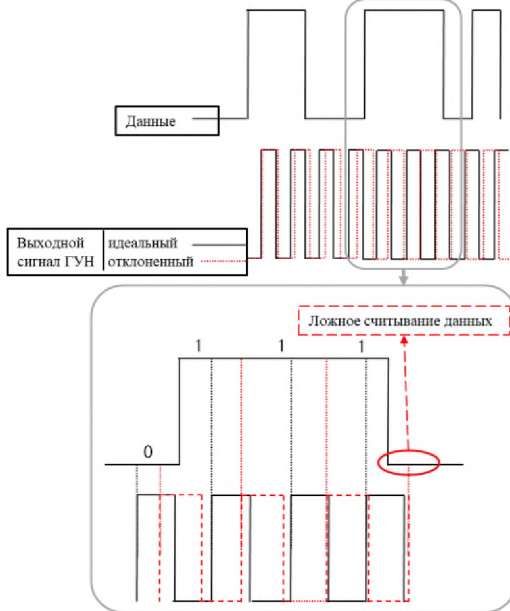


Рис. 10. Считывание данных с помощью выходного сигнала ГУН

Эта стабильность в основном связана с температурной зависимостью поликремниевого резистора (рис. 11), который находится в управляемом напряжением источнике тока (УНИТ).

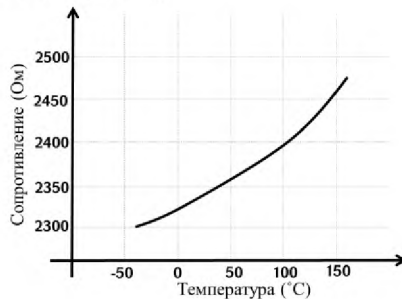


Рис. 11. Температурная зависимость поликремниевого резистора

Вышеуказанное отклонение тока в системе рекомендуется уменьшить за счет дополнительной цепи корректировки тока (рис. 12) в узле УНИТ.

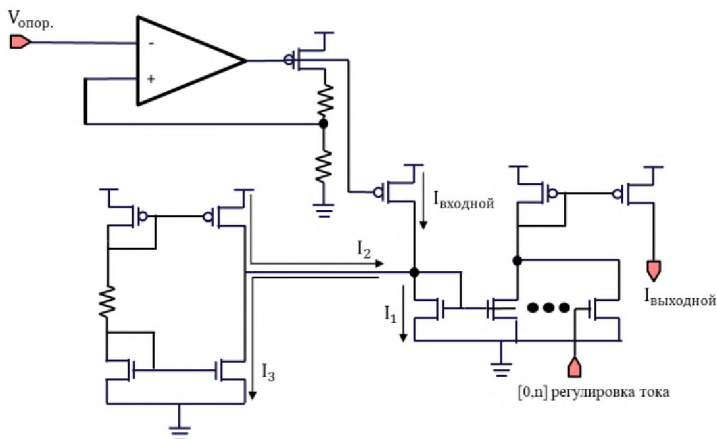


Рис. 12. Узел УНИТ с цепью корректировки тока

Таким образом, ток в узле УНИТ будет равен

$$I_1 = I_2 - I_3 + I_{\text{Входной}}. \quad (3)$$

Исходя из формулы, если значения токов I_2 и I_3 равны, то I_1 будет равен входному току. При температурных изменениях значения сопротивлений R_1 и R_2 также изменятся. При повышении температуры сопротивления R_2 и R_1 возрастут, что приведет к снижению выходного и увеличению I_2 токов. Таким образом, во время температурных изменений с помощью самонастраивания снижается отклонение тока УНИТ.

С целью оценки эффективности предлагаемого метода был спроектирован узел ГУН. Результаты моделирования узла ГУН показали, что зависимость $K_{\text{вс0}}$ (рис. 13) линейна. Это подтверждает, что ГУН может работать в интервале частот с 4 до 6 ГГц.

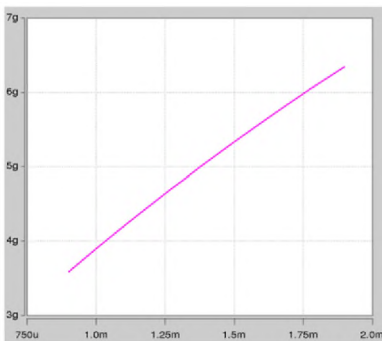


Рис. 13. Диаграмма зависимости $K_{\text{вс0}}$

Результаты моделирования узла ГУН с помощью предложенного и существующего методов показывают явное преимущество первого (рис. 14), так как частота выходного сигнала ГУН будет ближе к желаемому значению (табл. 4).

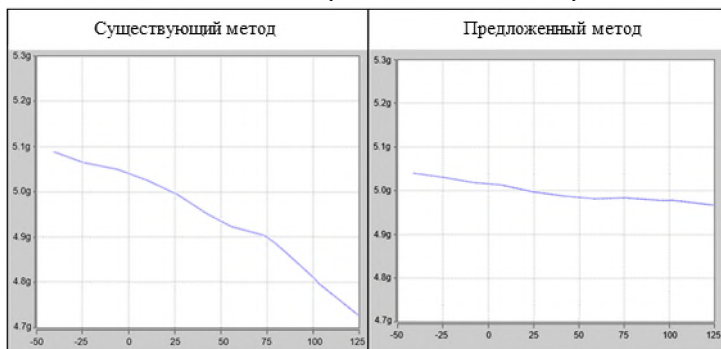


Рис. 14. Диаграмма моделирования узла ГУН

Таблица 4

Результаты моделирования ГУН

Параметр	Предложенный метод		Существующий метод	
	минимум	максимум	минимум	максимум
Выходная частота 40 °С (ГГц)	4,982	5,015	4,72	4,87
Выходная частота 125 °С (ГГц)	4,99	5,023	5,04	5,11

Таким образом, в случае использования предложенного метода отклонение выходного сигнала ГУН от требуемой частоты составляет менее 5%, что обеспечивает считывание данных в приемнике без потерь. Однако при этом потребляемый ток узла увеличится, в худшем случае, до 6 %.

В третьей главе представлено разработанное программное обеспечение (ПО) для реализации предлагаемых способов и методов самонастраивания узлов В/В в ИС. ПО позволяет упростить работу разработчика, дает возможность изучить зависимости главных параметров узлов В/В от температурных изменений, технологического процесса и ускоряет время разработки.

Программное средство также может быть использовано для регулирования масштабирования схем и изучения сигналов узлов передатчика и приемника. Кроме того, "Self Designer" имеет большое количество внедренных типов узлов В/В и удобный интерфейс. Основное окно (рис. 15) программы имеет несколько разделов:

1. File – раздел для работы с проектом.

2. Job monitor – раздел для трекинга процесса моделирования.
3. Results – раздел для вывода результатов моделирования.
4. Help – раздел для информации о ПО.

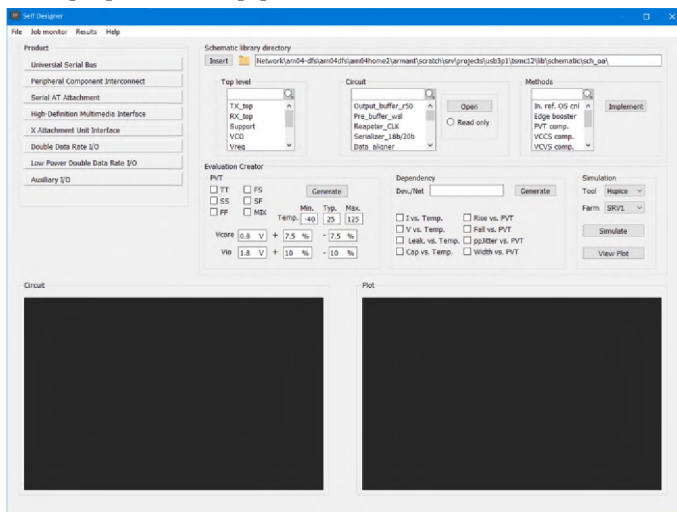


Рис. 15. Основное окно программы Self Designer

После создания или выбора прежнего проекта открываются секции: "Product"- для выбора типа узла В/В, "Schematic library directory"- для ввода библиотеки схем, "Evaluation creator"- для создания случаев моделирования, "Circuit"- для отображения выбранной архитектуры и "Plot"- для отображения диаграмм.

Таким образом, тестирование ПО, разработанного для самонастраивающихся узлов В/В на ряде реальных проектов, продемонстрировало его более высокую эффективность по сравнению с другими программными системами этого класса. ПО обеспечивает сокращение времени проектирования на 37...70% за счет ухудшения измеряемого параметра на 17%.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Предложены принципы проектирования самонастраивающихся узлов ввода/вывода, позволяющие значительно улучшить их основные технические характеристики и параметры: производительность, запас временных параметров, помехоустойчивость, а также сократить время проектирования [1-7].
2. Разработан метод увеличения амплитуды выходного сигнала передатчика, который благодаря встроенным цифровым логикам обеспечивает уменьшение длительностей передних и задних фронтов данных на 50%, в результате чего вертикальная и горизонтальная апертюры "глазковой" диаграммы улучшаются соответственно на 9 и 13%, в то время как ухудшение потребления тока составляет всего лишь 8% [1].
3. Предложен метод самонастраивания пороговой чувствительности высокочастотных синхронных компараторов, который уменьшает отклонение пороговой чувствительности, как минимум, в 10 раз с помощью цепи корректировки тока за счет увеличения площади узла в 1,5 раза [2].
4. Создана система самонастраивания технологических отклонений в узле передатчика, которая за счет регулировки выходного буфера приближает запас временных параметров выходного сигнала к типичному случаю, вне зависимости от технологических отклонений, с максимальным отклонением передних и задних фронтов сигнала на 2,5%, за счет увеличения энергопотребления на 5% и занимаемой площади на 10% [3].
5. Реализован метод самонастраивания выходной частоты генератора, управляемого напряжением, который в случае температурных изменений уменьшает избыточный ток с помощью токового зеркала, в результате чего отклонение выходной частоты не превышает 5% за счет увеличения потребления тока на 3% [4].
6. На основе принципов, методов и способов, разработанных в диссертации, создано программное обеспечение для проектирования самонастраивающихся узлов ввода/вывода в интегральных схемах, "Self Designer" которое внедрено в ЗАО "Синописис Армения" и используется для разработки самонастраивающихся схем ввода/вывода и изучения их основных параметров. Тестирование программы в ряде реальных проектов показало существенно более высокую эффективность, чем в других программных системах этого класса. Оно обеспечивает сокращение времени проектирования узлов ввода/вывода более чем в 2,5 раза за счет ухудшения измеряемого параметра всего на 17% [1-7].

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Melikyan V., Trdatyan A., Khachikyan K., Durgaryan A. Design of edge boosting digital control circuit for high-speed ICs // IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – 2016. – P. 315 – 318.
2. Տրդատյան Ա.Ս. Արագագործ տակտավորվող համեմատչի լարման շեղման ինքնահարմարման մեթոդ // Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. – 2018. – Հ. 71, No 4. – էջ 465–474:
3. Process Variation Detection and Self-Calibration Method for High-Speed Serial Links / V. Melikyan, A. Trdatyan, A. Sahakyan, A. Martirosyan, et al // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Sep. 14, 2018. - Kazan, Russia, 2018. – P. 681 – 684.
4. Տրդատյան Ա.Ս. Լարմամբ ղեկավարվող գներատորի էլքային հաճախության ինքնահարմարման մեթոդ // Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. – 2019. – Հ. 72, No 3. – էջ 401–409:
5. Trdatyan A.S., Trdatyan D.S., Manukyan S.H. CMOS Master Slave Flip Flop for Low Power Applications // Semiconductor Micro- And Nanoelectronics: 10th International Conference. – September, 2015. – P. 11 – 13.
6. High quality factor 5.0 Gbps CTLE circuit for SERDES serial links / V. Melikyan, A. Trdatyan, A. Petrosyan, K. Khachikyan, A. Martirosyan // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Sep. 14, 2018. –Kazan, Russia, 2018. –P. 641–644.
7. Դիմադրությունների համաձայնեցման մեթոդ / Օ.Հ. Պետրոսյան, Ա.Ս. Մարտիրոսյան, Ա.Ս. Տրդատյան և ուր. // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրագրեր. – Երևան, 2018. – Հ. 15, No 3. – էջ 475-479:

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ժամանակակից ինտեգրալ սիսեմաների (ԻՍ) մուտք/ելք (Մ/Ե) հանգույցներում փոխանցվող տեղեկատվության հաճախությունն անցել է ԳՀց-երի սահմանը: ԻՍ-երի հանգույցների միջև տվյալների փոխանցման դժվարությունները կապված են դրանց միջև առկա երկար գծերի պարազիտային տարրերի հետ: Դրանք, իրենց հերթին, պայմանավորված են միջմիացումների ֆիզիկական չափերով: Ներկայումս հատկապես էական է դարձել երկար գծերի ազդեցությունը ԻՍ-երում փոխանցվող տվյալների վրա: Դա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ տվյալը դրանով անցնելիս աղավաղվում է, փոքրանում է վերջինիս ժամանակային պաշարը: Դրա հետևանքով ԻՍ-երում առաջանում են տվյալների կորուստներ: Մյուս կողմից՝ անդադար ավելացող Մ/Ե հանգույցների տիպերը, շուկայում մրցունակ լինելու համար, հանգեցնում են դրանց համապիտանիության պահանջարկին:

Բացի նշված խնդիրներից, մեծանում են նաև ԻՍ-երի պարամետրերի ջերմաստիճանից, բարձր և ցածր սնման լարումներից և տեխնոլոգիական գործընթացից կախվածությունները: Դրանք ազդում են համակարգի աղմկակայունության և արագագործության վրա, ինչի հետևանքով էլ զգալիորեն վատանում են Մ/Ե հանգույցների հիմնական պարամետրերը:

Աղմկակայունության և արագագործության ապահովման լուծումները հայտնի են գրականությունից, սակայն դրանք իրականացնելու համար ԻՍ-երում անհրաժեշտ են լրացուցիչ մուտքեր: Վերջիններիս միջոցով ԻՍ-երի արտադրությունից հետո կարող են կատարվել Մ/Ե հանգույցների աշխատանքային խնդիրների շտկումներ: Սակայն այդ դեպքում անհնար կլինի ԻՍ-ի ինքնարժեքը պահել ցածր, քանի որ մուտքերի քանակի աճը մեծացնում է ԻՍ-ի գինը:

Արտադրական գործընթացից հետո ԻՍ-ի աշխատանքային թերությունները հնարավոր է շտկել ինքնահարմարման միջոցներով: Դրանք անհրաժեշտության դեպքում, կատարում են հանգույցի հոսանքների կարգաբերումներ, փոքրացնում հանգույցի բնութագրող պարամետրերի գործընթացից և ջերմաստիճանից կախվածությունները: Արդյունքում ապահովվում է Մ/Ե հանգույցների հուսալի աշխատանքը՝ ի հաշիվ մակերեսի և սպառվող հզորության մեծացման:

Այսպիսով, ԻՍ-երի ինքնահարմարվող Մ/Ե հանգույցների նախագծման միջոցների մշակումը դարձել է չափազանց արդիական, քանի որ գրականությունից հայտնի մոտեցումները բավարար չափով չեն ապահովում տվյալների հուսալի փոխանցումը, ինչն առաջացնում է վերոնշյալ խնդիրների լուծման համար նոր մոտեցումների մշակման անհրաժեշտություն:

Ատենախոսությունը նվիրված է ԻՍ-երի ինքնահարմարվող Մ/Ե հանգույցների նախագծման միջոցների մշակմանը, որոնք կվերացնեն

համակարգի աշխատանքային թերությունները և կապահովեն դրանց համապիտանիությունը:

Առաջարկվել են ինքնահարմարվող մուտք/ելք հանգույցների նախագծման միջոցների մշակման սկզբունքներ, որոնք թույլ են տալիս էպես բարելավել դրանց հիմնական տեխնիկական բնութագրերը և պարամետրերը՝ արագագործությունը, տվյալների ժամանակային պաշարը, աղմկակայունությունը և կրճատել նախագծման տևողությունը [1-7]:

Մշակվել է հաղորդչի էլքային ազդանշանի ամպլիտուդի մեծացման մեթոդ, որը, ներդրված թվային բջիջների շնորհիվ, ապահովում է էլքային ազդանշանի աճման և նվազման ճակատների տևողությունների կրճատում 50%-ով, ինչը հանգեցնում է «աչք»-ի դիագրամի ուղղահայաց և հորիզոնական բացվածքների համապատասխանաբար 9,7% և 13%-ով ավելացման, սպառվող հոսանքի ընդամենը 8%-ով վատթարացման հաշվին [1]:

Առաջարկվել է արագագործ տակտավորվող համեմատչի լարման շեղման ինքնահարմարման եղանակ, որը հոսանքի կարգաբերման ենթահանգույցի միջոցով լարման շեղումը նվազեցնում է առնվազն 10 անգամ՝ ի հաշիվ զբաղեցրած մակերեսի ընդամենը 1,5 անգամ մեծացման [2]:

Ստեղծվել է արագագործ հաղորդչի գործընթացային շեղումների ինքնահարմարման մեթոդ, որը էլքային բուֆերի կարգաբերման արդյունքում փոխանցվող ազդանշանի ժամանակային պաշարը մոտեցնում է տիպայինին անկախ ԳԼՋ շեղումներից, աճման և նվազման ճակատների առավելագույնը 2,5%-ով շեղմամբ, ի հաշիվ սպառվող հոսանքի 5%-ով և զբաղեցրած մակերեսի 10%-ով մեծացման [3]:

Իրագործվել է լարմամբ ղեկավարվող գեներատորի էլքային հաճախության ինքնահարմարման մեթոդ, որը ջերմաստիճանային փոփոխությունների դեպքում, շնորհիվ լրացուցիչ հոսանքի հայելիների օգտագործման, փոքրացնում է ավելցուկային հոսանքը, ինչի հետևանքով էլքային հաճախության շեղվածությունը չի գերազանցում 5%-ը՝ ի հաշիվ հոսանքի ընդամենը 3%-ով ավելացման [4]:

Ատենախոսությունում մշակված սկզբունքների, մեթոդների և եղանակների հիման վրա մշակվել է ինտեգրալ սինեմաների ինքնահարմարվող մուտք/ելք հանգույցների նախագծման Self Designer ծրագրային միջոցը, որը ներդրվել է «Մինոսիս Արմենիա» ՓԲԸ-ում և օգտագործվում է ինտեգրալ սինեմաների ինքնահարմարվող մուտք/ելք հանգույցների նախագծման և դրանց հիմնական պարամետրերի հետազոտման նպատակով: Դրա փորձարկումը մի շարք իրական նախագծերում ցույց է տվել էականորեն բարձր արդյունավետությունը այդ դասի այլ ծրագրային համակարգերի համեմատ: Այն ապահովում է մուտք/ելք հանգույցների նախագծման ժամկետի կրճատում ավելի քան 2,5 անգամ՝ ի հաշիվ չափվող պարամետրի ընդամենը 17%-ով վատացման [1-7]:

ARMAN STEPAN TRDATYAN

DEVELOPMENT OF SELF-CONFIGURABLE INPUT/OUTPUT UNITS FOR INTEGRATED CIRCUITS

SUMMARY

Currently, the data transmission frequency in input/output (I/O) units of integrated circuits (IC) exceeds the GHz border. The main difficulties in transmitting data between ICs are connected with parasitic elements of transmission line which, in turn, depends on the geometric dimensions. In recent years, the impact of transmission lines on data has become particularly important. This is due to the fact that the transmission line suppresses the signal and therefore the reserves of data time and voltage parameters are reduced, which leads to the loss of information in IC. On the other hand, day by day increasing I/O types generate the demand for their universality, in order to be competitive in the market.

In addition to the listed problems, dependencies of IC main parameters from temperature changes, high and low supply voltages and technological processes are also increasing. They reduce the overall noise-immunity and speed of the system, thereby worsening the characteristics of I/O units.

Approaches for increasing noise-immunity and speed of the system are well known in literature, but additional inputs in ICs are required to implement them. With the help of the latter, it is possible to fix defects of work in I/O units after IC manufacturing. But in that case, it would be impossible to keep the prime cost of IC low as the increase in the number of inputs increases the cost of IC.

After the manufacturing process, the operating defects of IC can be fixed by means of self-configurable I/O units. If necessary, they can adjust circuit currents, reduce dependencies of parameters from technological process and temperature drifts. They also perform transmitter and receiver equalization or data repairing via digital cells, thereby ensuring reliable operation of the I/O units in a high-frequency range of transmitted or received data at the expense of area and power consumption.

Thus, the development of self-configurable I/O units for ICs become extremely relevant as the approaches, solutions and architectures known in the literature do not sufficiently provide reliable data transmission and reception, which necessitates the development of new approaches to address the above issues.

The dissertation is devoted to the development of self-configurable I/O units for ICs, that will eliminate system working defects and ensure their universality.

Principles for development of self-configurable I/O units for ICs, have been proposed which allow to substantially improve their technical characteristics and parameters such as speed, reserves of data time parameters margins, noise-immunity and shorten design time.

A method for increasing output signal amplitude of transmitter has been developed, which thanks to embedded digital cells reducing output signal edge propagation time by 50% resulting in improvement of eye diagram apertures correspondingly 9,7% and a 13%, with a mere 8% deterioration of power consumption.

A method of self-configurable offset of high-speed clocked comparators has been proposed, which reduces the offset by at least 10 times with the help of the current adjustment unit at the expense of only about 1,5 times the area increase.

A method of high-speed transmitter self-configuration has been constructed from technological process, which approximates the timing parameters of the signal to typical case in output buffer by reducing the deviation lower than 2,5%, at the expense of 5% consumed current and by 10% increase in area.

A method of self-configurable output frequency of voltage-controlled oscillators has been materialized which, in case of temperature changes, due to the use of current-mirrors reduces excess currents, resulting in an output frequency deviation not exceeding 5% at the expense of a 3% increase in power.

Based on the principles and methods developed in the dissertation, the Self Designer software has been developed and implemented in «Synopsys Armenia» CJSC and is used for design and research purposes of the main parameters of self-configurable input/output units. Its testing in a number of real projects has shown substantially higher efficiency than other software systems of this class. It ensures that the input/output unit design time is reduced by more than 2,5 times at the expense of just 17% of the measured parameter worsening.

